

Рис. 3. Структура течения азота в системе струй при взаимодействии с поверхностью при $U_0 = 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $T_0 = 700^\circ\text{C}$, $L1$ сопла = 44 мм, $B1$ сопла = 28 мм, $L2$ сопла = 44 мм, $B2$ сопла = 14 мм

Для осесимметричной геометрии решение задачи с помощью двумерной постановки значительно сэкономит время проведения расчета, повышая при этом точность. Осесимметричный анализ помогает точно предсказать концентрацию касательных напряжений трения в потоке, не прибегая для этого к подмоделированию, которое часто требуется при проведении более сложного 3D-расчета. Однако в случае моделирования не осесимметричных задач, следует применять трехмерную геометрию.

Список использованных источников

1. Зиганшин А.М. Вычислительная гидродинамика. Постановка и решение задач в процессоре Fluent. – Казань: КГАСУ, 2013.
2. Fluent 6.3. HELP – руководство к программному комплексу.

УДК 632.151

В. Г. Лисиенко, Ю. Н. Чесноков, А. В. Лаптева

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ОЦЕНКА УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ГЛИНОЗЕМА

Аннотация. Для производства алюминия необходим глинозем. Глинозем получают из бокситов, нефелинов или алунитов в основном двумя способами спеканием и Байера. В связи с ожидаемым глобальным потеплением климата Земли и требуемым снижением эмиссии парниковых газов (углеродного следа продукции) целесообразно оценить углеродный след –

суммарную эмиссию парниковых газов во всех процессах, участвующих в производстве алюминия. Далее углеродный след продукции именуется сквозной эмиссией алюминия.

Ключевые слова: бокситы, каменная соль, аммиак, известняк, сода, глинозем.

Abstract. Alumina is required for aluminium production. Alumina is obtained from bauxites, nephelins or alunites mainly by two sintering and Bayer methods. Due to the expected global warming of the Earth's climate and the required decrease in greenhouse gas emissions (carbon footprint), it is advisable to estimate the carbon footprint - the total greenhouse gas emissions in all processes involved in aluminum production. Further, the carbon footprint of products is called through emission of aluminum.

Key words: bauxite, rock salt, ammonia, limestone, soda, alumina.

При подготовке материала приняты следующие параметры ресурсов:

- кокс ($C_p = 85 \%$, $Q_H = 29,1$ МДж/кг);
- природный газ ($C_p = 73,4 \%$, $Q_H = 34,79$ МДж/м³ или $Q_H = 47,7$ МДж/кг, $\rho = 0,729$ кг/м³);
- условное топливо $Q_{H,y.t.}^p = 29,33$ МДж/кг у. т.

Все энергетические процессы в металлургии можно охарактеризовать эмиссией одного парникового газа – диоксида углерода, так как другие газы (оксид углерода и метан), которые образуются в этих процессах, являются вторичными энергетическими ресурсами, которые сгорают до диоксида углерода в других агрегатах или в свече. Для каждого j -го процесса различают следующие эмиссии [1]:

- собственно процесса (прямую) $\mathcal{E}_{Пj}$;
- транзитную (косвенную) \mathcal{E}_{Tj} ;
- сквозную (углеродный след) \mathcal{E}_{Cj} .

Эмиссия диоксида углерода собственно j -го процесса вычисляется по суммарной массе сгоревшего углерода в процессе.

$$\mathcal{E}_{Tj} = \frac{44}{12} \sum_{i=1}^k m_{ij} c_{ij}, \quad (1)$$

где m_{ij} – масса сгоревшего i -го топлива в процессе; c_{ij} – доля углерода в i -м топливе; k – количество различных топлив, сгораемых в j -м процессе; 44 и 12 молярные веса CO_2 и C .

Транзитная эмиссия j -го процесса \mathcal{E}_{Tj} определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{Tj} = \sum_{i=1}^{n_i} \mathcal{E}_{Ci} \cdot P_i, \quad (2)$$

где \mathcal{E}_{Ci} – сквозная эмиссия ресурса в предшествующем i -м процессе, причем $i = j - 1$; P_i – расход ресурса, используемого в j -м процессе; n_i – количество ресурсов, используемых в j -м процессе.

Сквозная эмиссия j -го процесса равна сумме эмиссий собственно процесса и транзитной.

$$\mathcal{E}_{Cj} = \mathcal{E}_{Пj} + \mathcal{E}_{Tj}. \quad (3)$$

Жидкий алюминий получают из глинозема. Глинозем производят из бокситов, нефелинов или алунитов, который содержит оксид алюминия Al_2O_3 . Глинозем из бокситов производят способами К. И. Байера или спекания. В процессе потребляется значительное количество электроэнергии, получаемое от гидроэлектрических станций (ГЭС). Возможные эмиссии парниковых газов этими станциями в этой работе не учитываются.

Способ Байера. Способ Байера основан на обратимой реакции



Боксит дробят и размалывают до зерен 0,05 – 0,15 мм с добавлением раствора каустической соды NaOH. Полученная пульпа поступает в автоклавы на выщелачивание при высоком давлении, подогреве до 100 – 240 °С и перемешивании. Такие условия обеспечивают течение реакции (4) вправо. Полученный алюминатный раствор $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ для выделения шлама поступает на процесс разделения. Затем выполняется декомпозиция (разложение) этого раствора при атмосферном давлении, охлаждении и перемешивании или продувкой сжатым воздухом. Реакция (4) идет влево. Алюминат натрия выпадает в осадок. После чего наступает очередь отделения кристаллов гидроксида алюминия от раствора обезвоживанием. Полученный глинозем поступает на электролиз. В перечисленных процессах непосредственная эмиссия диоксида углерода отсутствует. Имеется транзитная эмиссия при производстве электроэнергии, воздуха и пара.

Для производства 1 т глинозема по способу Байера необходимы следующие ресурсы:

- 90 кг гидроксида натрия (каустической соды);
- 2,5 т бокситов;
- 120 кг извести;
- 180 кг мазута;
- 8 т пара;
- 280 кВт·ч электроэнергии [2–6].

Этих усредненных данных, полученных в доступных источниках, не достаточно для точного определения углеродного следа глинозема, полученного по способу Байера. Однако приближенная оценка позволяет сравнивать различные технологические процессы.

При производстве каустической соды используют пар, каменную соль, воду и электроэнергию.

При производстве извести используют известняк, природный газ (или кокс, антрацит).

Формула (2) применима для двух смежных процессов. В реальных производствах процессы образуют цепочки, причем различной длины – дерево процессов. Такие производства удобно моделировать сигнальными графами эмиссий. Вершины графа соответствуют процессам или агрегатам, реализующим процессы. В вершинах, соответствующих j -му процессу, в скобках проставляются значения эмиссий в виде $(\dot{E}_{\text{П}j}/\dot{E}_{\text{С}j})$ или $(-/\dot{E}_{\text{С}j})$, если в этом процессе нет собственной эмиссии. Вершины соединяются дугами, если процессы технологически связаны. У дуг i из j проставляются числовые значения расходов ресурсов, полученных в j -м процессе. Формулы (1–3) позволяют найти значения всех эмиссий при обходе графа сверху вниз.

Граф эмиссий производства глинозема по способу Байера представлен на рисунке 1.

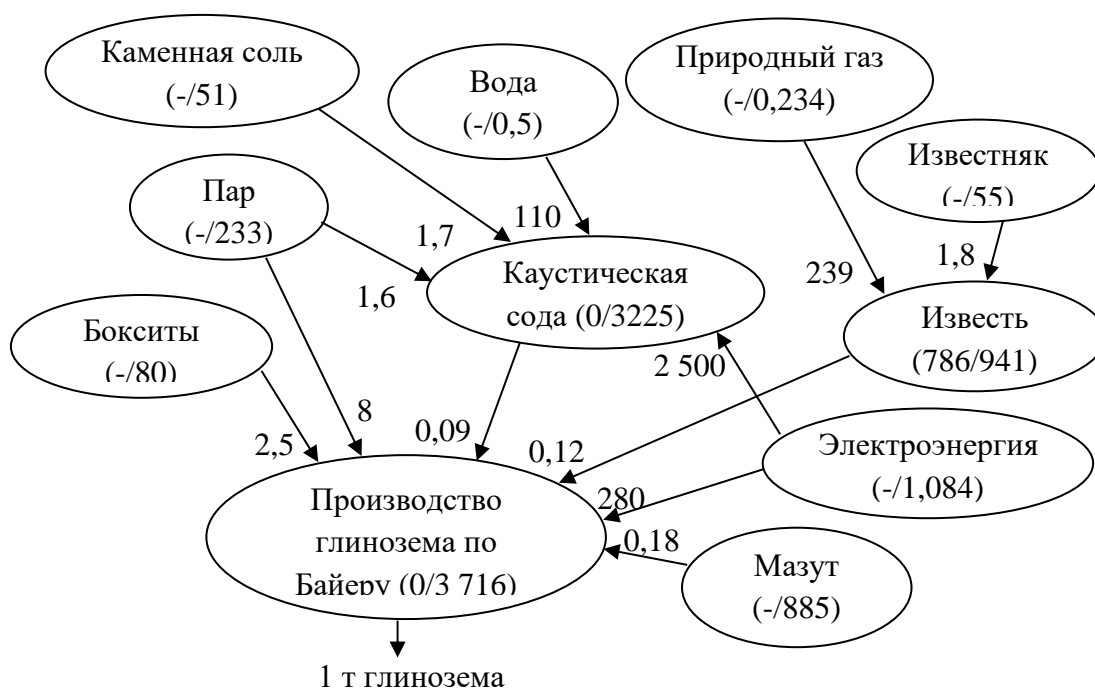
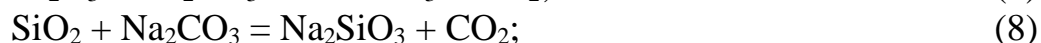
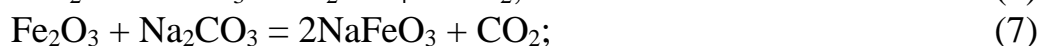
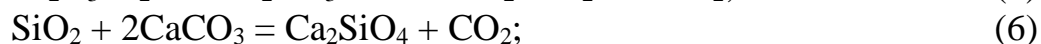
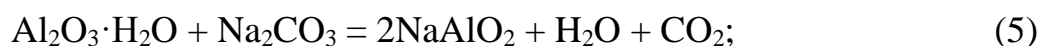


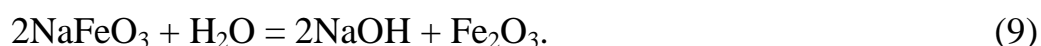
Рис. 1. Графы эмиссий производства алюминия при производстве глинозема способом Байера

Способ спекания. Способ спекания для производства глинозема основан на получении твердых алюминатов путем их спекания при температуре 1300 °С и выщелачивании полученного спека. Пульпу после мокрого измельчения боксита, известняка и свежей соды (Ca_2CO_3) спекают во вращающихся трубчатых печах. При этом кремнезем связывается в нерастворимый силикат Ca_2SiO_4 .



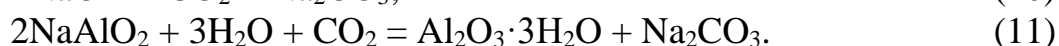
Полученный в этих реакциях диоксид углерода используется в составе дымовых газов в последующем процессе карбонизации.

Затем алюминат натрия NaAlO_2 растворяют и отделяют от не растворившейся части, происходит процесс выщелачивания. Феррит натрия, образующийся в этом процессе, разлагается водой



После выщелачивания следует процесс обескремнивания с добавкой извести.

Следующий процесс – карбонизация с использованием дымовых газов. Диоксид углерода, образованный при протекании реакций (5) – (8) используется в этом процессе:



В этой связи образованием диоксида углерода в процессе спекания пренебрегаем.

Для определения углеродного следа рассмотрим процесс производства кальцинированной соды. Ресурсы, используемые при производстве кальцинированной соды, их расходы и сквозные эмиссии приведены [7]. Рассол и аммиачная вода поступают со смежных предприятий, где их эмиссия CO_2 уже учтена. Диоксид углерода, образующийся при обжиге известняка, используется в процессе карбонизации [5–8]. В этой связи будем считать эмиссию CO_2 процесса производства соды равной нулю.

Для производства 1 т глинозема по способу спекания необходимы ресурсы:

- 3,2–3,6 т бокситов;
- 1,35 т известняка;
- 0,025 т извести;
- 0,19 т кальцинированной соды;
- 1,1–1,2 т условного топлива;
- 800 кВт/ч электроэнергии [2].

Граф эмиссий производства глинозема по способу спекания представлен на рисунке 2 [9].

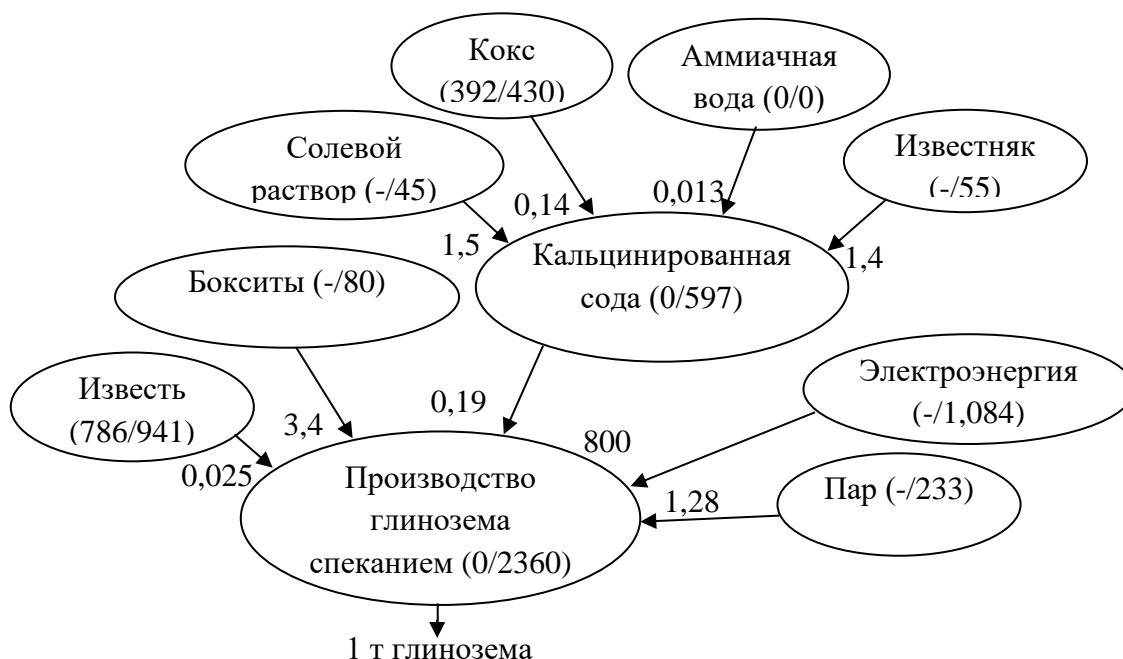


Рис. 2. Графы эмиссий производства глинозема способом спекания

Заключение. Найдены следующие сквозные эмиссии диоксида углерода (углеродный след) при производстве глинозема способом:

- Байера – 3 716;
- спекания – 2 360.

Производство алюминия из глинозема, полученного способом спекания, оказывает меньшее влияние на климат Земли.

Список использованных источников

1. Лисиенко В.Г. Сравнительный эколого-парниковый анализ альтернативных бескоксовых процессов производства чугуна и стали / В.Г. Лисиенко, Ю.Н. Чесноков, А.В. Лаптева // *Металлург*. 2011. № 7. С. 40–45.
2. Воскобойников, В. Г. Общая металлургия: учеб. для вузов / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев. – М.: Металлургия, 1998. – 768 с.
3. Процессы и аппараты цветной металлургии: учебник / С.С. Набойченко, Н.Г. Агеев, С.В. Карелов [и др.]; под общей ред. С.С. Набойченко. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013. – 564 с.
4. Тарасов А.В. Общая металлургия / А.В. Тарасов, Н.И. Уткин. – М.: Металлургия, 1997. – 592 с.
5. Кистяковский Б.Б. Производство цветных металлов / Б.Б. Кистяковский, Н.В. Гудима. – М. : Металлургия, 1978. – 344 с.
6. Эффективное оборудование для получения каустической соды, выпаривания щелочи, охлаждения упаренного раствора и вывода сульфатов. Код доступа https://mashprom.ru/press/publication/aview_b22/
7. Справочник химика: Т.5 / Под ред. Б.П. Никольского, В.А. Рабиновича. – М. – Л.: Химия, 1966. – 973 с.
8. Вавилов А.А. Машинные методы расчета систем управления: учеб. пособие / А.А. Вавилов, Д.Х. Имаев. – Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та, 1981. – 232 с.
9. Чесноков Ю.Н. Разработка графов эмиссии диоксида углерода металлургическими предприятиями / Ю.Н. Чесноков, В.Г. Лисиенко, А.В. Лаптева // *Металлург*. 2012. № 12. С. 23–26.

УДК 620.178.16;66.045.12

А. К. Матюхина, Г. Е. Маслеников, А. Ф. Рыжков, И. П. Лазебный

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ПГУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТКРЫТОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Аннотация. В данной работе проводится расчет тепловой схемы ПГУ с помощью программного пакета «DWSIM». Основной целью является получение расчетной модели ПГУ для дальнейшего расчета карбонизации золы.

Ключевые слова: CO₂; ПГУ; котёл-утилизатор; DWSIM.

Abstract. In this paper, the calculation of the thermal scheme of the CCGT is carried out using the software package "DWSIM". The main goal is to obtain a design model of the CCGT for further calculation of ash carbonation.

Key words: CO₂; CCGT; heat recovery boiler; DWSIM.